

UTILIZAÇÃO DE REJEITO CARBONOSO CALCINADO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS ATINGIDAS POR CONTAMINANTES DA MINERAÇÃO DO CARVÃO

Alexandre Blos Borges
Helen Nuernberg Ronchi
Thatiane Cordini Fernandes
Claus Tröger Pich¹
Reginaldo Geremias²

RESUMO

A indústria carbonífera é uma das principais atividades econômicas do sul de Santa Catarina, Brasil. Entretanto, gera rejeitos carbonosos não aproveitados economicamente e capazes de contaminar mananciais hídricos, incluindo o Rio Urussanga. Este trabalho teve como objetivo utilizar rejeito carbonoso calcinado para o tratamento de águas atingidas por resíduos da mineração de carvão. Amostras de águas do Rio Urussanga e de rejeitos carbonosos foram coletadas. O rejeito foi submetido à calcinação para obtenção de óxidos de metais. As águas foram tratadas com rejeito carbonoso calcinado em sistema de batelada. Antes e após o tratamento, foram determinadas as concentrações dos íons de metais Al (III), Fe (III) e Mn (II) e o pH. Foram efetuados ensaios de toxicidade aguda em *Artemia* sp. e *Daphnia magna* expostos a diferentes diluições das águas não tratadas e tratadas, sendo determinada a concentração letal média (CL₅₀) para *Artemia* sp. e o Fator de Diluição (FD) para *Daphnia magna*. O teste de fitotoxicidade foi realizado em *Allium cepa* L. expostas às águas não tratadas e tratadas, sendo avaliada a inibição do crescimento das raízes. Os resultados permitem demonstrar que o tratamento elevou o pH e promoveu expressiva remoção dos íons de metais. Foi observado que após o tratamento não houve mortalidade para *Artemia* sp., sendo constatada a redução da toxicidade para *Daphnia magna* e crescimento normal das raízes em *Allium cepa* L. Concluiu-se que o rejeito carbonoso calcinado poderia ser utilizado como uma alternativa de tratamento das águas atingidas por contaminantes da mineração do carvão.

Palavras-chave: rejeito carbonoso calcinado, Rio Urussanga (SC/Brasil), pH, metais, toxicidade

¹ Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, SC, Brasil.

² Curso de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, SC, Brasil. E-mail para correspondência: reginaldogeremias@gmail.com

ABSTRACT

Use of calcinated carbonous waste for the treatment of water affected by contaminants from coal mining. The coal industry is one of the main economic activities in southern of Santa Catarina, Brazil. However, it generates carbonous waste not recovered economically, which could contaminate water sources, including the Urussanga River. This study aimed to use of the calcinated carbonous waste for the treatment of contaminated water by waste from coal mining. Water samples from Urussanga River and carbonous waste were collected. The waste was subjected to calcination to obtain metal oxides. The waters of the river were treated with calcinated carbonous waste in batch system. Were determined the concentrations of metal ions Al (III), Fe (III) and Mn (II) and the pH before and after the treatment. Was performed acute toxicity tests on *Daphnia magna* and *Artemia* sp. exposed to different dilutions of untreated and treated water and determined the median lethal concentration (LC_{50}) for *Artemia* sp. and Dilution Factor (DF) to *Daphnia magna*. Phytotoxicity test was conducted in *Allium cepa* L. exposed to untreated and treated water, and evaluated the inhibition of root growth. The results indicated that the treatment increased the pH as well as it promoted an expressive removal of metal ions. It was observed that after treatment there was no mortality in *Artemia* sp. and it was found to reduce the toxicity to *Daphnia magna* and normal growth of roots in *Allium cepa* L. In conclusion, the use of the calcinated carbonous waste could be considered as an alternative for the treatment of waters affected by contaminants from coal mining.

Key words: calcinated carbonous waste, Urussanga River (SC/Brasil), pH, metals, toxicity

INTRODUÇÃO

A extração e o beneficiamento de carvão mineral é uma das principais atividades econômicas do sul do Estado de Santa Catarina, Brasil. Entretanto, a mesma tem provocado sérios problemas ambientais, principalmente em decorrência da geração de contaminantes potencialmente tóxicos, tais como efluentes com baixos valores de pH ($<3,0$) e elevada concentração de íons de metais como Al (III), Fe (II) e Mn (II) (Campos *et al.*, 2003; Silvas *et al.*, 2011). A geração de rejeitos carbonosos e piritosos de mineração também constitui em um dos principais impactos decorrentes da atividade carbonífera. Esses rejeitos, em muitos casos, não são aproveitados economicamente, sendo depositados de forma inadequada, promovendo danos ao meio ambiente (Brofft *et al.*, 2002).

Dentre os ambientes atingidos pelos contaminantes oriundos da atividade carbonífera, encontra-se a Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, localizada na região

sul de Santa Catarina. O Rio Urussanga é o seu principal manancial hídrico, o qual está inserido em uma das mais importantes unidades de conservação da região, qual seja, a Área de Preservação Ambiental (APA) da Baleia Franca (Milioli *et al.*, 2009). Além do comprometimento da qualidade das águas e do solo, diversas comunidades vivem próximas à região, sendo potencialmente expostas aos riscos da contaminação. Portanto, é necessário conferir um destino adequado aos rejeitos ou, até mesmo, o seu aproveitamento econômico, além de alternativas de tratamento das águas do rio para a melhoria de sua qualidade.

A literatura tem descrito a utilização de óxidos de metais obtidos a partir da calcinação do rejeito de mineração de carvão para o tratamento de drenagem ácida de mina de carvão. Tem-se proposto que esses óxidos seriam capazes de atuar como adsorvente de H_3O^+ , provocando a elevação do pH com consequente precipitação e remoção de metais da drenagem, além de adsorverem metais por diferentes processos físico-químicos (Geremias *et al.*, 2008). Nesse contexto, a utilização de rejeitos carbonosos, submetidos à calcinação, poderia ser indicada para o tratamento das águas do Rio Urussanga, o que permitiria uma aplicação econômica do rejeito, minimizando os seus impactos sobre o meio ambiente.

Além da avaliação de parâmetros físico-químicos (ex: pH e concentrações de metais), é também importante a utilização de bioensaios, como forma de se obter melhor avaliação da qualidade das águas do rio em estudo e da eficácia do sistema de tratamento com o rejeito carbonoso calcinado. Ensaios de toxicidade aguda em microcrustáceos *Artemia* sp. e *Daphnia magna* têm sido utilizados internacionalmente por apresentarem características significativas, tais como grande potencial reprodutivo, fácil aquisição no mercado e manutenção em laboratório, custos de fácil eclosão e boa reprodutividade dos testes (Arambašić *et al.*, 1995; Silva, 2002; Sămy *et al.*, 2010).

Diversos trabalhos também têm relatado, com sucesso, o uso de plantas superiores como um bioensaio sensível e rápido de *screening* para a avaliação da contaminação atmosférica, terrestre e aquática (Calzoni *et al.*, 2007). Em particular, tem-se sugerido o uso de *Allium cepa* L. (cebola) como organismo bioindicador para a avaliação ecotoxicológica de ambientes contaminados por várias classes de poluentes, incluindo-se os metais (Fiskesjö, 2006). Para tanto, são avaliados diversos parâmetros fitotóxicos, tais como bioacúmulo de contaminantes em diferentes tecidos (raízes, folhas e bulbos), inibição de crescimento de raízes, perda de biomassa, efeitos citogenéticos e mutagênicos, estresse oxidativo, entre outros. O uso desse vegetal em estudos ecotoxicológicos tem sido sugerido, uma vez que oferece benefícios como sensibilidade, reprodutibilidade, resposta em breve período de tempo, necessidade de pouco volume de amostra de contaminante, bem como baixo custo (Fatima e Ahmad, 2005; Richa *et al.*, 2005; Fatima e Ahmad, 2006).

Portanto, aliando-se à determinação de parâmetros físico-químicos com bioensaios, pode-se melhor caracterizar a qualidade das águas do rio e a eficácia do seu tratamento.

Partindo de tais pressupostos, o presente trabalho propôs utilizar rejeito carbonoso de mineração de carvão, submetido à calcinação, como material alternativo para o tratamento das águas do Rio Urussanga, bem como avaliar a eficácia desse processo a partir da utilização de parâmetros físico-químicos e de testes de toxicidade em *Artemia* sp., *Daphnia magna* e *Allium cepa* L.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta de Águas

Amostras de água do Rio Urussanga (20 L) foram coletadas na comunidade de Nova Itália, município de Urussanga/SC (28°30'33,8"S; 49°18'53,9"W), onde a qualidade do manancial hídrico é comprometida, principalmente em decorrência da atividade de extração e beneficiamento do carvão mineral. A coleta foi efetuada em setembro de 2010, sendo feita uma única coleta em um único ponto. A coleta foi realizada em frascos de polietileno e a amostra acondicionada sob refrigeração (4°C) até os ensaios, os quais foram executados nos laboratórios da Universidade do Extremo Sul Catarinense (Criciúma, SC-Brasil). O ponto de coleta está apresentado na figura 1.



Figura 1. Ponto de coleta de água do Rio Urussanga.

Coleta e Calcinação de Rejeitos Carbonosos

Amostras de rejeito carbonoso (1 kg) foram coletadas em empresa de mineração de carvão localizada na região carbonífera em estudo, sendo resguardada a razão social da empresa. O rejeito foi peneirado (40 mesh) para obtenção de partículas de tamanhos mais homogêneos. Posteriormente, o rejeito foi calcinado a 800°C por 1 hora em mufla para obtenção de óxidos de metais, conforme metodologia descrita por Geremias *et al.* (2008). As etapas de processamento das amostras do rejeito foram realizadas nos laboratórios da Universidade do Extremo Sul Catarinense (Criciúma, SC-Brasil).

Tratamento da Água e Determinação de Parâmetros Físico-químicos

A presente etapa foi efetuada de acordo com a metodologia proposta por Geremias *et al.* (2008). Para o tratamento das águas do Rio Urussanga, amostras de rejeito carbonoso calcinado foram colocadas em contato com as águas do rio (proporção de 1g/25 mL), em frascos erlenmeyer, sob agitação magnética (200 rpm), à temperatura ambiente por 48 horas. Antes e após o tratamento, foram determinadas as concentrações dos íons de metais Al (III), Fe (III) e Mn (II) por Espectroscopia de Absorção Atômica em Chamas, bem como os valores de pH por potenciometria.

Toxicidade Aguda em Microcrustáceos *Artemia* sp. e *Daphnia magna*

Cistos de microcrustáceos de *Artemia* sp. (50 mg) foram colocados em 100 mL de solução salina a 2%, durante 24 horas, à temperatura aproximada de 37°C, sob aeração e ao abrigo da luz para a eclosão. Os náupilos recém-eclodidos (n=10) foram expostos a 2 mL de diluições seriadas de água não tratada e tratada com o rejeito carbonoso calcinado, em placas multipoços, por 24 horas, à temperatura ambiente e ao abrigo da luz. Foi utilizada solução salina a 2% como controle negativo. Ao final da exposição, foi determinada a concentração letal média (CL₅₀) pelo método matemático *Trimmed Spearman-Kärber*, utilizando-se o programa Probitos® (Hamilton *et al.*, 1977; Svensson *et al.*, 2005). Nos ensaios com *Daphnia magna*, organismos neonatos (duas a 26 horas de vida; n=10) foram expostos por 24 horas, em béqueres, contendo 20 mL de diluições seriadas de águas não tratadas e tratadas com rejeito carbonoso calcinado, à temperatura de 20 ± 2°C, com fotoperíodo de 16 horas. Para o grupo controle negativo, foi utilizada água de diluição. A toxicidade aguda foi avaliada através da determinação do Fator de Diluição (FD), o qual representa a maior diluição em que não se observa mortalidade superior a 10% dos organismos nas condições do ensaio (Lattuada *et al.*, 2009).

Fitotoxicidade em *Allium cepa* L.

Para avaliar o efeito fitotóxico, foi realizado teste de inibição do crescimento de raízes em *Allium cepa* L. de acordo com Bortolotto *et al.* (2009), com adaptações. Para tanto, indivíduos de *A. cepa*, obtidos a partir de fontes comerciais, tiveram suas raízes retiradas e os bulbos (n=6) colocados na parte superior de tubos Falcon, contendo 50 mL de amostras de águas não tratadas e tratadas com rejeito carbonoso calcinado, à temperatura ambiente e ao abrigo da luz. Para o controle negativo, foi utilizada água mineral obtida comercialmente. As amostras de água foram reabastecidas diariamente de forma a manter os bulbos sempre em contato com elas. Após sete dias de exposição, o comprimento da maior raiz de cada bulbo foi medido e a inibição do crescimento das raízes foi calculada e expressa em percentagem.

Análise Estatística

Os resultados do teste de fitotoxicidade em *A. cepa* foram submetidos à análise de Variância (ANOVA), complementada pelos testes *Student-Newman Keuls* (SNK) e Bonferroni. As análises foram conduzidas usando software *GraphPad Prism 5.0* (*GraphPad Inc. San Diego, California, U.S.A.*), assumindo nível de significância de $p < 0,05$. Todos os resultados foram expressos em Média \pm Desvio Padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros Físico-químicos

Os resultados obtidos na avaliação da concentração de íons de metais e do pH nas águas coletadas no Rio Urussanga, antes e após o tratamento com o rejeito carbonoso calcinado, estão demonstrados na Tabela 1. Foi possível constatar que as águas não tratadas apresentaram baixos valores de pH e presença majoritária de alumínio, seguido do ferro e do manganês. Esse perfil também foi descrito na literatura em águas de rios localizados na região sul de Santa Catarina atingidas por resíduos da mineração de carvão (Freitas *et al.*, 2011).

Tabela 1. Concentração de íons de metais e pH nas águas do Rio Urussanga não tratadas e tratadas com o rejeito carbonoso calcinado.

Parâmetro	Não tratada	Tratada
pH	2,4	8,9
Al (III) mg L ⁻¹	54.2	1.0
Fe (III) mg L ⁻¹	26.3	0.2
Mn (II) mg L ⁻¹	3.0	1.4

Tem-se proposto que a contaminação das águas superficiais e subterrâneas em região de mineração de carvão pode ser decorrente do processo de oxidação de minerais sulfetados, principalmente pirita (FeS_2) que, em contato com a água e o ar, oxida-se formando drenagem ácida com baixos valores de pH e elevada concentração de ferro em solução. Além do ferro, outros metais, como alumínio e manganês, quando presentes em minerais associados ao carvão, podem ser solubilizados e lixiviados nas drenagens (Sasowsky *et al.*, 2000). As drenagens são capazes de atingir os mananciais hídricos, e seus metais permanecerem em solução como íons livres ou na forma de complexos.

Dessa forma, o baixo valor de pH e a elevada concentração de metais observados nas águas do Rio Urussanga podem estar associados à sua contaminação por resíduos gerados na mineração do carvão, principalmente drenagens ácidas de mina e rejeitos carbonosos e piritosos. Portanto, se faz necessário o tratamento desse manancial hídrico com vistas à melhoria de sua qualidade e à consequente possibilidade de uso para diferentes fins.

Diversas alternativas de tratamento de efluentes de mineração de carvão e de águas atingidas por contaminantes oriundos da atividade carbonífera têm sido propostas. Recomenda-se que um tratamento efetivo seria aquele capaz de reduzir a acidez, bem como os níveis de metais do meio (Gazea *et al.*, 1996). Nossos resultados evidenciaram que o tratamento das águas com rejeito carbonoso calcinado provocou a elevação do pH e a expressiva remoção dos metais (Tabela 1). Essa capacidade pode ser devido à presença de óxidos de metais no rejeito calcinado (ex: SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3), que seriam capazes de promover a adsorção de H_3O^+ presente nas águas, o que levaria à elevação do pH com consequente formação e precipitação de óxidos e hidróxidos de metais insolúveis (Geremias *et al.*, 2008). Também é possível que os íons de metais das águas sejam removidos por adsorção aos óxidos presentes no rejeito, através de interação por complexação, formação de par iônico, troca iônica, interação eletrostática, forças de van der Waals e outros mecanismos (Wu *et al.*, 2004).

Os resultados evidenciam que o rejeito poderia ser utilizado como uma alternativa de tratamento de mananciais hídricos contaminados por resíduos da mineração de carvão e outros contaminantes de elevada acidez e presença de metais potencialmente tóxicos.

Toxicidade Aguda em *Artemia* sp. e *Daphnia magna*

Nos ensaios com microcrustáceos, observou-se que as águas do Rio Urussanga não tratadas provocaram expressiva toxicidade aguda em *Artemia* sp. ($\text{CL}_{50} = 2,34$ %) e em *Daphnia magna* ($\text{FD} = 16$), conforme apresentado na figura 2 e na tabela 2, respectivamente. Esses resultados coincidem com a literatura, onde há registros de letalidade em *Artemia* sp. e *Daphnia magna*, quando expostas à drenagem ácida de mina de subsolo, a efluentes de mineração de carvão em bacias de decantação, bem como

a águas de rio atingidas por efluentes da atividade carbonífera, sendo sugerido que a toxicidade seria decorrente dos baixos valores de pH e da presença de íons de metais como Fe, Mn, Zn, Cu e Pb nas amostras (Geremias *et al.*, 2003; Teixeira *et al.*, 2005).

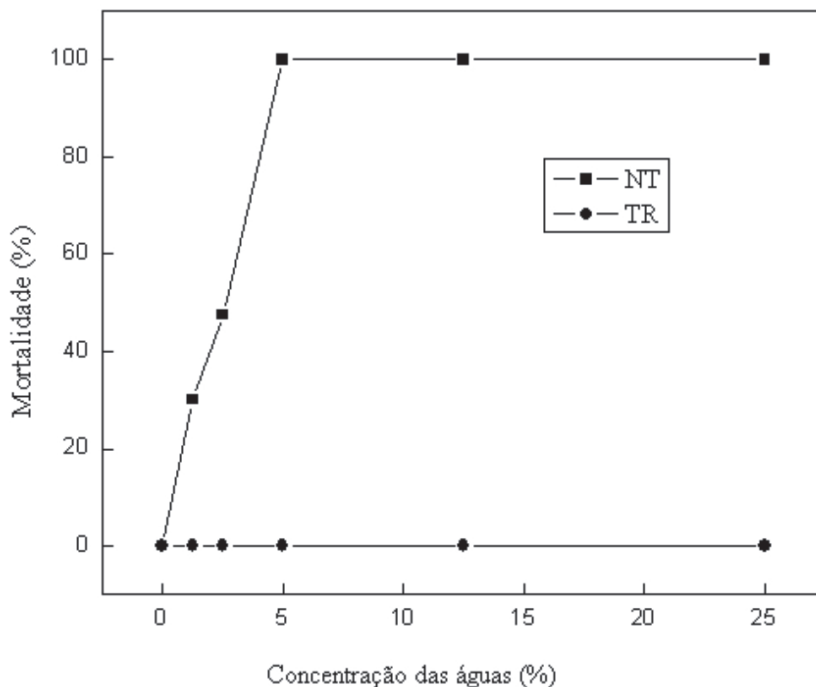


Figura 2. Toxicidade aguda em *Artemia* sp. exposta às diferentes concentrações das águas do Rio Urussanga não tratadas (NT) e tratada com rejeito carbonoso calcinado (TR).

Tabela 2. Toxicidade aguda em *Daphnia magna* exposta aos diferentes níveis de diluição das águas do Rio Urussanga não tratadas (NT) e tratadas com rejeito carbonoso calcinado (TR).

Diluição	Fato de Diluição (FD)	Mortalidade (%)	
		NT	TR
1:1	1	100	100
1:2	2	100	95
1:3	3	100	85
1:4	4	100	75
1:6	6	100	65
1:8	8	100	10
1:12	12	100	0
1:16	16	0	0
1:32	32	0	0

Tem-se proposto que ambientes aquáticos de baixo pH e de alta concentração de metais podem provocar distúrbio respiratório, osmorregulatório, processos mutagênicos e cancerígenos e até a morte da biota exposta (Ridge e Seif, 1998). Portanto, o elevado efeito tóxico observado nos microcrustáceos expostos às águas do Rio Urussanga não tratadas poderia estar associado a esses parâmetros, conforme observados em nossos resultados (Tabela 1), e que poderia ser decorrente da contaminação por resíduos da atividade carbonífera.

Em nossos estudos, constatou-se que após o tratamento das águas com o rejeito carbonoso calcinado não houve mortalidade em *Artemia* sp. em todas as concentrações utilizadas, não sendo possível a determinação da CL_{50} , sugerindo que o tratamento se mostrou eficaz na remoção da toxicidade aguda sobre esse organismo. Também se pode observar que o tratamento promoveu a diminuição da toxicidade para *Daphnia magna* (FD = 16 para FD = 8), mas não a sua completa remoção (Tabela 2), sugerindo que esse microcrustáceo se mostrou mais sensível ao teste. Geremias *et al.* (2008) também utilizaram rejeito de mineração de carvão calcinado para o tratamento de drenagem ácida de mina, sendo observadas a elevação do pH e a remoção de íons de metais Al (III), Fe (III) e Mn (II). Além disso, constatou-se que o microcrustáceo *Daphnia magna* também se mostrou mais sensível (CL_{50} = 3,68%) quando comparado à *Artemia* sp. (CL_{50} = 4,97%), sendo que após o tratamento não houve mais mortalidade para ambos os organismos. A maior sensibilidade do microcrustáceo *Daphnia magna* poderia estar associada a sua menor tolerância frente à exposição a metais. Entretanto, são necessários ensaios complementares para melhor elucidar os mecanismos envolvidos nesse processo.

Portanto, se pode propor que a redução da toxicidade das águas do Rio Urussanga sobre os microcrustáceos, após o tratamento com o rejeito carbonoso calcinado, estaria associada à capacidade deste de remover contaminantes presentes em solução, conforme também proposto por Geremias *et al.* (2008).

Fitotoxicidade em *Allium cepa* L.

Os resultados obtidos nos ensaios de fitotoxicidade em *Allium cepa* L. exposta às águas do Rio Urussanga não tratadas e tratadas com o rejeito carbonoso calcinado, bem como à água mineral (controle negativo) estão apresentados na Figura 3. É possível observar que houve significativa inibição do crescimento das raízes de *A. cepa* expostas às águas não tratadas quando comparado ao controle negativo e ao tratado ($***P < 0,001$). A literatura também tem descrito significativa inibição do crescimento de raízes em *Allium cepa* L. expostas a efluentes de mineração de carvão, os quais apresentavam elevada acidez e alta concentração de metais como ferro, alumínio e manganês (Teixeira *et al.*, 2004).

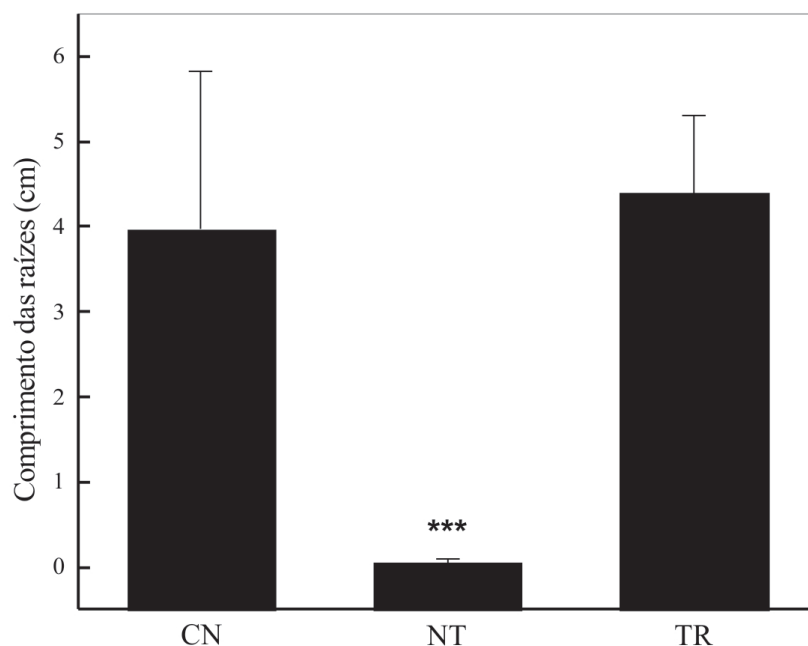


Figura 3. Comprimento das raízes em *Allium cepa* L. expostas às águas do Rio Urussanga não tratadas (NT), tratadas com rejeito carbonoso calcinado (TR) e à água mineral comercial como controle negativo (CN). Resultados expressos em Média \pm Desvio Padrão.

Tem-se proposto que o efeito fitotóxico de inibição de crescimento de raízes estaria relacionado à capacidade de metais poderem ser acumulados pela planta e interagirem com sítios específicos localizados na parede celular (ex: interação com pectinas e hemiceluloses), na membrana plasmática (ex: interação com lipídios ou proteínas) e no núcleo celular. Como consequência do acúmulo de metais, poderiam ser desencadeadas diversas alterações fisiológicas, bioquímicas e moleculares na célula, tais como alteração do fluxo de água e nutrientes, alteração da homeostase do fluxo de cálcio e comprometimento de eventos de sinalização celular, distúrbios do ciclo celular e da atividade mitótica de células meristemáticas. Esses efeitos poderiam trazer como consequência a inibição do crescimento de tecidos da planta, incluindo-se os das raízes (Ezaki *et al.*, 2004; Ledislav *et al.*, 2006; Glinska *et al.*, 2007). Nossos resultados evidenciaram que o grupo exposto às águas tratadas com o rejeito carbonoso calcinado apresentou crescimento normal das raízes, quando comparado ao grupo não tratado, não havendo diferença significativa em relação ao controle negativo (Figura 3). De modo semelhante aos resultados obtidos nos ensaios

de toxicidade com microcrustáceos, se pode sugerir que a remoção desse efeito fitotóxico pode estar associada à capacidade do rejeito em elevar o pH e remover os íons de metais da água do rio.

Portanto, a partir dos resultados obtidos na avaliação de parâmetros físico-químicos e nos bioensaios, é possível sugerir que as águas do Rio Urussanga estão sujeitas à contaminação por resíduos da mineração do carvão. Também se constatou que o tratamento com o rejeito carbonoso calcinado se mostrou capaz de melhorar a qualidade das águas, uma vez que promoveu expressiva remoção de íons de metais e elevação do pH, além de diminuir sua toxicidade sobre os organismos expostos.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que a amostra de águas do Rio Urussanga apresentou baixo valor de pH, presença elevada de íons de metais Al (III), Fe (III) e Mn (II), além da capacidade de promover toxicidade aguda em *Artemia* sp. e *Daphnia magna* e de fitotoxicidade em *Allium cepa* L. Tal perfil poderia estar associado à contaminação por resíduos da atividade carbonífera, que é intensa na região. O sistema de tratamento das águas do rio, utilizando rejeito carbonoso calcinado, se mostrou efetivo na elevação do pH e na remoção de íons de metais, bem como na redução da toxicidade nos organismos-teste. Portanto, o rejeito carbonoso poderia ser usado como alternativa de tratamento de rios contaminados por resíduos da mineração de carvão, oferecendo uma utilidade econômica ao rejeito, minimizando os seus impactos sobre o meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade do Extremo Sul Catarinense, pelo apoio financeiro, e à Universidade Federal de Santa Catarina (Campi de Curitibanos e de Araranguá), pelo apoio técnico-científico.

REFERÊNCIAS

ARAMBAŠIĆ, M. B.; BJELIĆ, S.; SUBAKOV, G. 1995. Acute toxicity of heavy metals (copper, lead, zinc), phenol and sodium on *Allium cepa* L., *Lepidium sativum* L. and *Daphnia magna* St.: Comparative investigations and the practical applications. **Water Research**, 29(2):497-503.

- BORTOLOTTI, T. *et al.* 2009. Evaluation of the toxic and genotoxic potential of landfill leachates using bioassays. **Environ. Toxicol. Pharmacol.**, **28**(2):288-293.
- BROFFT, J. E.; MCARTHUR, J. V.; SHIMKETS, L. J. 2002. Recovery of novel bacterial diversity from a forested wetland impacted by reject coal. **Environ. Microbiol.**, **4**(11):764-769.
- CALZONI, G. L. *et al.* 2007. Active biomonitoring of heavy metal pollution using *Rosa rugosa* plants. **Environ. Pollut.**, **149**(2):239-245.
- CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A.; SOUZA, L. S. 2003. Avaliação de três áreas de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, **27**(6):1-6.
- EZAKI, B. *et al.* 2004. Mechanism of gene expression of Arabidopsis glutathione-S-transferase, At GST1 and AtGST11 in response to aluminum stress **Plant Physiol.**, **134**(4):1672-1682.
- FATIMA, R. A.; AHMAD, M. 2006. Allium cepa EROD as a potential biomarker for the presence of certain pesticides in water. **Chemosphere**, **62**(4):527-537.
- FATIMA, R. A.; AHMAD, M. 2005. Certain antioxidant enzymes of Allium cepa as biomarkers for the detection of toxic heavy metals in wastewater. **Sci. Total Environ.**, **346**(1-3):256-273.
- FISKESJÖ, G. 2006. The *Allium* test in wastewater monitoring. **Environ. Toxicol. Water**, **8**(3):3291- 298.
- FREITAS, A. P. P.; SCHNEIDER, I. A. H.; SCHWARTZBOLD, A. 2011. Biosorption of heavy metals by algal communities in water streams affected by the acid mine drainage in the coal mining region of Santa Catarina state, Brazil. **Miner. Eng.**, **24**(11):1215-1218.
- GAZEA, B.; ADAM, K.; KONTOPOULOS, A. 1996. A review of passive systems for the treatment of acid mine drainage. **Miner. Eng.**, **9**(1):23-42.
- GEREMIAS, R. *et al.* 2008. Use of coal mining waste for the removal of acidity and metal ions Al (III), Fe (III) and Mn (II) in acid mine drainage. **Environ. Technol.**, **29**(8):863-886.
- GEREMIAS, R. *et al.* 2003. Remediation of coal mining wastewaters using chitosan microspheres. **Environ. Technol.**, **24**(12):1509-1515.
- GLINSKA, S. *et al.* 2007. Effects of anthocyanin-rich extract from red cabbage leaves on meristematic cells of *Allium cepa* L. roots treated with heavy metals. **Ecotoxicol. Environ. Saf.**, **68**(3):343-350.
- HAMILTON, M. A.; RUSSO, R. C.; THURSTON, R. V. 1977. Trimmed Spearman-Kärber method for estimating median lethal concentrations in toxicity bioassays. **Environ. Sci. Technol.**, **11**(7):714-719.

- LATTUADA, R. M. *et al.* 2009. Determination of metals by total reflection X-ray fluorescence and evaluation of toxicity of a river impacted by coal mining in the south of Brazil. **J. Hazard. Mater.**, **163**(2-3):531-537.
- LEDISLAV, T. *et al.* 2006. Aluminum-induced drought and oxidative stress in barley roots. **J. Plant Physiol.**, **163**(7):781-784.
- MILIOLI, G.; SANTOS, R.; CITADINI-ZANETTE, V. 2009. **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina: uma abordagem interdisciplinar.** Curitiba: Juruá, 316 p.
- RIDGE, T.; SEIF, J. M. 1998. **Coal mine drainage prediction and pollution prevention in Pennsylvania.** Pennsylvania: Pennsylvania Department of Environmental Protection, 398 p.
- SÄMY, C. H.; TORRENS, B. M. DE O.; MEDEIROS, S. H. W. 2010. Estudo do impacto ambiental na bacia do Rio do Braço através de análises ecotoxicológicas. **Revista de Ciências Ambientais**, **4**(2):45-55.
- SASOWSKY, I. D.; FOOS, A.; MILLER, C. M. 2000. Lithic controls on the removal of iron and remediation of acidic mine drainage. **Water Res.**, **34**(10):2742-2746.
- SILVA, A. C. 2002. **Tratamento do Percolado de Aterro Sanitário e Avaliação da Toxicidade do efluente bruto e tratado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 79p.
- SILVAS, F. P. C. *et al.* 2011. Caracterização e neutralização de drenagens ácidas de minas provenientes da mineração de carvão em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, **20**:23-32.
- SVENSSON, B. M. *et al.* 2005. *Artemia salina* as test organism for assessment of acute toxicity of leachate water from landfills. **Environ. Monit. Assess.**, **102**(1-3):309-321.
- TEIXEIRA, G. A. *et al.* 2005. Monitoramento da remediação de efluentes de mineração de carvão por flotação, utilizando-se parâmetros físico-químicos e bioindicadores. In: VII CONGRESO SETAC - L. A., 2005, Santiago, Chile. CD-ROM.
- TEIXEIRA, G. A. *et al.* 2004. Avaliação da toxicidade de mineração de carvão, utilizando-se parâmetros físico-químicos e teste cometa em *Allium cepa* L. In: XIX REUNIÃO ANUAL DA FEDERAÇÃO DE SOCIEDADE DE BIOLOGIA, 2004, Águas de Lindóia. CD-ROM.
- WU, C. H.; LIN, C. F.; CHEN, W. R. 2004. Regeneration and reuse of water treatment plant sludge: adsorbent for cations. **J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard Subst.**, **39**(3):717-28.